

高等院校信息技术规划教材

OMNeT++网络仿真

夏 锋 编著

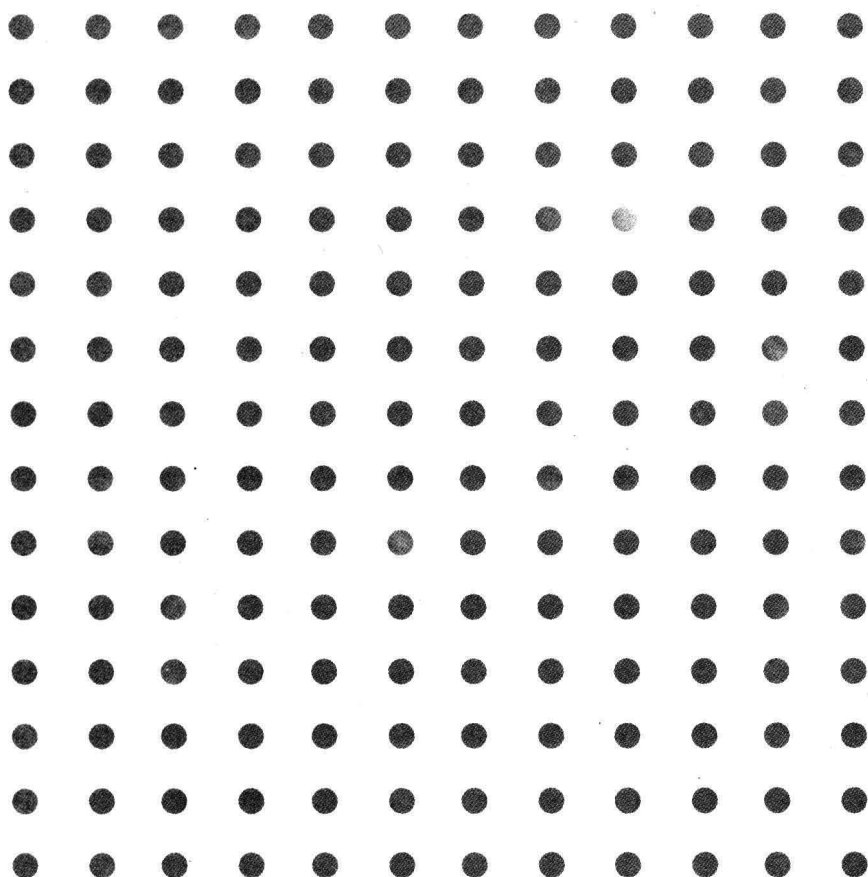


清华大学出版社

高等院校信息技术规划教材

OMNeT++网络仿真

夏 锋 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了 OMNeT++ 仿真平台最新版本的使用,对其基本语法、仿真库、网络模拟方法、技巧及现有的一些应用仿真框架等做了深入浅出的讲述,通过大量丰富的应用实例,将网络技术的研究热点及采用 OMNeT++ 进行网络仿真的整个过程呈现给读者,使读者能够快速入门并迅速将这一强大而实用的工具应用到自己的学习和研究过程中。

本书内容新颖,图文并茂,通俗易懂,既可作为学生学习 OMNeT++ 的入门书籍,也可作为技术人员研发工作中的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

OMNeT++ 网络仿真/夏锋编著. —北京:清华大学出版社,2013.1

高等院校信息技术规划教材

ISBN 978-7-302-29417-7

I. ①O… II. ①夏… III. ①计算机网络—计算机仿真—应用软件—高等学校—教材
IV. ①TP393.01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 161082 号

责任编辑:白立军 徐跃进

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印装者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:15

字 数:374 千字

版 次:2013 年 1 月第 1 版

印 次:2013 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:29.50 元

产品编号:045174-01

前言

foreword

随着当今世界科学技术水平的不断进步,网络和通信技术蓬勃发展,网络通信领域的研究逐年受到追捧。而作为网络通信技术研究的重要手段之一的网络仿真(也称网络模拟)则受到了众多高校师生以及科研人员的青睐。网络仿真使得很多研究人员能够在硬件条件不具备的情况下研究大规模网络,以及在开发新协议、新算法时能够快速地进行设计、实现、分析并改进协议或算法。毫无疑问,网络仿真软件在网络协议与技术的研究开发中占有相当重要的地位。

OMNeT++ (Objective Modular Network Testbed in C++) 是一款开源的、学术性的、非营利性、基于离散事件的仿真器,其对应的商用版本为 OMNEST。近年来,在科学和工业领域里,OMNeT++ 已逐渐成为一个非常流行的网络仿真平台,在国内外已被广泛使用。OMNeT++ 作为一款基于组件的、模块化的、开放的仿真软件,有很好的 GUI 界面,并且可以在 GUI 中配置参数。与 NS2 相比,其高度的模块化,使得它在增加一些协议时不需要重现编译整个源代码,使用 NED 语言来定义网络的拓扑结构,对基本的网络模块元件使用 C++ 语言来定义其行为。软件整体结构清晰,界面显示丰富,运行速度较快,非常适合大规模网络仿真。OMNeT++ 是一款免费的仿真软件,在学习和研究中使用该软件时不需要支付任何费用,而且 OMNeT++ 在世界各地都有庞大的用户群体,他们为 OMNeT++ 的使用和发展提供了丰富的资源和技术支持。

但是,由于 OMNeT++ 采用离散事件的方式以及使用 NED 语言和 C++ 语言共同来开发,因此学习起来有一定的难度,特别是对于初学者来说,很容易对其产生畏惧。此外,由于 OMNeT++ 是处于初期的开放源代码项目,文档资料相对来说偏少,且中文资料非常匮乏。为此,作者撰写了本书为学习和使用 OMNeT++ 仿真软件的学习者和科研人员提供帮助。

作者在统筹、编写本书时,不仅结合自身的学习、研究体会把主要知识阐述清楚,而且还特别地对相关的网络基础知识做了清晰的介绍。本书所使用的 OMNeT++ 软件为其最新版本 4. X,该版本是以前版本的一个提升,涉及了更广泛的应用。本书坚持“看得懂、学得会、用得上”的原则,运用由浅入深、循序渐进的解说手法,首先对 OMNeT++ 基本语法进行详细的讲解,之后通过实例,就现阶段中网络技术的热点研究问题,将采用 OMNeT++ 进行研究开发的整个过程呈现给读者,使读者能够快速入门并迅速将 OMNeT++ 这一强大而实用的工具应用到自己的学习和研究过程中。

本书内容涵盖 OMNeT++ 基本语法、仿真库、网络模拟方法、技巧及现有的一些应用仿真框架等,对 OMNeT++ 仿真平台的使用方法做了深入浅出的讲解,并对一些应用案例做了具体的分析。全书共分四个部分(篇),共 14 章。

第一篇基础知识篇包含第 1~4 章,主要讲解 OMNeT++ 仿真软件的结构、安装方法及基本语法等基础知识。其中,第 1 章为 OMNeT++ 基本介绍,从概念以及简单应用的角度来讲述 OMNeT++ 的基础知识。第 2 章介绍 OMNeT++ 的安装以及 IDE 的使用,分别从 Linux 平台和 Windows 平台的角度来讲解安装以及使用过程。第 3 章介绍 NED 语言,作为 OMNeT++ 的主要使用语言,包括信道、简单模块、复合模块、消息机制、模块参数、连接、属性、继承、包等方面都做了详细的讲解。第 4 章则针对仿真库方面的知识做了很详细的介绍,包含类库、模块日志、随机数的产生、容器类、路由支持、记录仿真结果等。

第二篇 OMNeT++ 网络仿真技术篇包含第 5~8 章,主要讲解在不同的网络层次进行网络仿真的方法及相关知识。其中,第 5 章介绍 OMNeT++ 物理层的相关知识。第 6 章介绍 MAC 协议仿真,包括对现有的无线网络 MAC 协议的总体性分类介绍和对 IEEE 802.15.4 MAC 协议的介绍,以及该协议 OMNeT++ 仿真代码的分析讲解。第 7 章介绍网络层路由协议仿真,从路由协议的分类、组成及性能评价参数等方面进行介绍,并通过一个具体的路由协议实例,对路由协议的仿真过程进行讲解分析。第 8 章介绍仿真结果的分析,就如何使用 OMNeT++ 仿真软件对所生成的仿真结果进行分析做了详细讲解。

第三篇 OMNeT++ 扩展篇包含第 9~12 章,主要介绍几款基于 OMNeT++ 仿真软件实现的仿真框架。其中,第 9 章介绍 INET Framework,包括安装和使用方法、体系结构的介绍,并对包含的几款具体协议的仿真实例的使用做了讲解,如 IEEE 802.11 协议等。第 10 章介绍 MiXiM 仿真框架,就如何使用该框架增加模拟模型及实现自己的 MAC 层做了详细的说明讲解。第 11 章介绍 CASTALIA 仿真框架,包括 CASTALIA 仿真框架的概述性介绍,以及如何使用 CASTALIA 框架中包含的仿真实例的详细性说明讲解。第 12 章介绍其他第三方框架,包括 OVERSIM、REASE、XMIPV6 这三个仿真框架。

第四篇 OMNeT++ 应用示例篇包含第 13 和第 14 章,主要讲述一个具体的仿真实例的全过程。其中,第 13 章对基于 IEEE 802.15.4/ZigBee 协议的 WSN 技术做了详细介绍,第 14 章则对基于这个技术的 OMNeT++ 仿真过程做了讲解,特别是 NED 语言文件的设计。

全书整体内容由夏锋博士进行策划和统编。其中,第 1 章由郝若男执笔;第 2 章由曹阳执笔;第 3 章、第 5 章由薛磊执笔;第 4 章由李桂齐执笔;第 6 章、第 9 章由王林强执

笔;第7章由赵旭海执笔;第8章由丁方伟执笔;第10~12章由张伟执笔;第13章、第14章由高瑞霞执笔。全书最后由夏锋博士修改、定稿。此外,王林强和薛磊参与了全书的修改和校对工作。在此表示衷心的感谢!

全书内容参考了很多现有书籍资料和网络资源,再次对这些资料的原著者表示感谢。本书得到了国家自然科学基金(60903153)、教育部留学回国人员科研启动基金(2010—2012年)、大连理工大学研究生院教改基金(JP201006)等项目资助,在此向相关部门表示感谢!

由于作者水平有限,加上时间仓促,书中难免存在疏漏和不当之处,敬请读者批评指正。

夏 锋

大连理工大学

2012年12月

目录

Contents

第一篇 基础篇

第 1 章 OMNeT++ 基本知识	3
1.1 OMNeT++ 简介	3
1.2 基本结构	4
1.3 使用流程	5
1.3.1 新建运行模拟器	5
1.3.2 发布的内容	7
1.4 模型概念	9
1.4.1 分层次的嵌入式模块	9
1.4.2 模块类型	10
1.4.3 消息、门、链路	10
1.4.4 包输出的建模	10
1.4.5 参数表	11
1.4.6 拓扑描述方法	11
第 2 章 OMNeT++ 安装及 IDE 的使用	12
2.1 UNIX/Linux 系统安装	12
2.1.1 必备包的安装	12
2.1.2 安装包的选择和解压缩	12
2.1.3 环境变量的设置	13
2.1.4 配置并搭建 OMNeT++	14
2.1.5 核实安装成功	14
2.1.6 运行 OMNeT++	15
2.2 Windows 系统安装	16
2.2.1 安装的必要环境	16
2.2.2 配置并搭建 OMNeT++	16



2.2.3	核实安装成功	17
2.2.4	启动仿真开发环境	17
2.3	IDE 的使用	18
第 3 章	NED 语言	27
3.1	NED 概览	27
3.2	NED 快速开始	28
3.3	信道	29
3.4	App、Routing 和 Queue 简单模块	31
3.5	简单模块	33
3.6	复合模块	34
3.7	消息机制	36
3.7.1	cMessage 类	36
3.7.2	消息定义	37
3.7.3	消息的收发	37
3.8	模块参数、门及连接的访问	41
3.8.1	消息参数的访问	41
3.8.2	门和连接的访问	42
3.8.3	门的传输状态	43
3.8.4	连接的状态	43
3.9	属性	44
3.10	继承	45
3.11	包	45
3.11.1	概述	45
3.11.2	名称转换和输入	46
3.11.3	使用 like 进行名称转换	46
3.11.4	默认包	46
第 4 章	仿真库	47
4.1	类库公约	47
4.1.1	基类	47
4.1.2	设置和查询属性	47
4.1.3	classname() 成员函数	47
4.1.4	name 属性	47
4.1.5	getFullName() 和 getFullPath() 属性	48
4.1.6	拷贝和复制对象	48
4.1.7	迭代器	49

4.1.8	错误处理	49
4.2	模块日志	49
4.3	仿真时间转换	50
4.4	随机数的产生	51
4.4.1	随机数产生器	51
4.4.2	访问 RNG	52
4.4.3	随机变量	52
4.5	容器类	54
4.5.1	队列类: cQueue 类	54
4.5.2	扩展的数组: cArray 类	55
4.6	路由支持	56
4.6.1	概述	56
4.6.2	基本用法	57
4.6.3	最短路径	59
4.7	统计和分布估计	60
4.7.1	cStatistic 类和派生	60
4.7.2	分布估计	61
4.7.3	k 分裂算法	64
4.7.4	瞬时检测和结果精确性	66
4.8	记录仿真结果	67
4.8.1	输出向量: cOutVector	67
4.8.2	输出标量	68
4.8.3	所有权树	69
4.9	查看(watches)和快照(snapshots)	69
4.9.1	基本查看	69
4.9.2	读写查看	70
4.9.3	结构体查看	71
4.9.4	查看	71
4.9.5	快照	72
4.9.6	获得协同程序栈的用途	73
4.10	派生新类	74
4.10.1	cOwnedObject 还是非 cOwnedObject	74
4.10.2	cOwnedObject 的虚函数	74
4.10.3	类注册	75
4.10.4	详细信息	76
4.11	对象所有权管理	79
4.11.1	所有权树	79
4.11.2	管理所有权	80



第二篇 技 术 篇

第 5 章 物理层	85
5.1 物理层介绍	85
5.2 GSM	85
5.2.1 简介	85
5.2.2 GSM 的发展历史	86
5.2.3 无线电接口	86
5.2.4 网络结构	87
5.2.5 GSM 安全	87
5.3 Bluetooth	88
5.3.1 简介	88
5.3.2 技术规范	89
第 6 章 MAC 层仿真	90
6.1 MAC 协议	90
6.1.1 基于竞争的 MAC 协议	90
6.1.2 基于时分复用的 MAC 协议	92
6.1.3 其他类型 MAC 协议	94
6.2 仿真实例分析	95
6.2.1 IEEE 802.15.4 MAC 协议简介	95
6.2.2 代码分析	98
6.2.3 NED 文件	127
第 7 章 网络层路由协议仿真	128
7.1 路由协议分类介绍	128
7.2 路由协议组成部分	130
7.2.1 节点编址	130
7.2.2 拓扑维护	130
7.2.3 路径选择	131
7.2.4 跨层操作	131
7.2.5 可选服务模式	131
7.3 理想的路由算法	131
7.4 仿真性能指标	132
7.5 路由协议仿真实例分析	134
7.5.1 AODV 协议介绍	134

7.5.2	AODV 协议模块的调用过程	135
7.5.3	AODV 仿真程序分析	136
第 8 章	仿真结果分析	162
8.1	仿真结果文件	162
8.1.1	仿真结果	162
8.1.2	输出向量	162
8.1.3	输出向量文件的格式	162
8.1.4	标量结果	163
8.2	仿真集成开发环境(IDE)中的分析工具	163
8.3	Scavetool	163
8.3.1	Filter 命令	164
8.3.2	Index 命令	165
8.3.3	Summary 命令	165
8.4	统计分析和绘图工具	165
8.4.1	电子表格程序	165
8.4.2	GNU R	165
8.4.3	MATLAB 和 Octave 软件	165
8.4.4	NumPy 和 MatPlotLib 库	166
8.4.5	ROOT 框架	166
8.4.6	Gnuplot 软件	166
8.4.7	Grace 软件	166

第三篇 扩展篇

第 9 章	INET Framework	169
9.1	概述	169
9.2	INET 框架扩展	170
9.3	安装	170
9.4	体系结构	172
9.5	Ethernet 模型	174
9.5.1	简介	174
9.5.2	数据包和以太网帧	175
9.5.3	LargeNet 及运行结果	175
9.6	802.11 模型	176
9.6.1	简介	176
9.6.2	运行结果	177



第 10 章	MiXiM	178
10.1	MiXiM 实例	178
10.1.1	环境	178
10.1.2	新建 MiXiM 工程	178
10.2	增加模拟模型部分	179
10.2.1	原理	179
10.2.2	实际操作	179
10.3	实现自己的 MAC 层	181
10.3.1	理论	181
10.3.2	实际操作写自己的 MAC 层	181
10.4	通过扩展 BaseDecider 实现决策模块	182
10.4.1	理论	182
10.4.2	实际操作	183
第 11 章	Castalia	185
11.1	Castalia 介绍	185
11.2	Castalia 实例	187
11.2.1	运行第一个仿真	187
11.2.2	使用 Castalia 和 CastaliaResults 脚本	189
第 12 章	其他仿真框架	194
12.1	OverSim	194
12.1.1	介绍	194
12.1.2	特点	194
12.2	ReaSE	195
12.2.1	介绍	195
12.2.2	特点	195
12.3	xMIPv6	195

第四篇 示 例 篇

第 13 章	无线传感器网络	199
13.1	ZigBee 协议	199
13.1.1	物理层	200
13.1.2	MAC 层	200

13.1.3	网络层	203
13.1.4	应用层	203
13.2	基于 ZigBee 的 WSN 体系结构	204
13.2.1	传感器节点的结构	204
13.2.2	ZigBee 网络拓扑	204
13.2.3	数据传输方式	205
第 14 章	基于 OMNeT++ 的 WSN 仿真	207
14.1	网络模型	208
14.2	节点模型	211
14.2.1	mobility 模块	213
14.2.2	battery 模块	213
14.2.3	notificationBoard 模块	214
14.2.4	disp 模块	214
14.2.5	net 模块	215
14.2.6	app 模块	215
14.2.7	nic(network interface)模块	216
14.3	omnetpp.ini 配置文件	220
14.4	仿真过程	222
参考文献		225

第一篇

基 础 篇

OMNeT++ 基本知识

1.1 OMNeT++ 简介

OMNeT++ 是一款面向对象的离散事件网络模拟器。由于它的分类式架构, OMNeT++ 可被应用于多个领域:

- (1) 有线或无线通信网络模拟;
- (2) 协议模拟;
- (3) 模拟队列网络;
- (4) 模拟多处理器和其他分布式硬件系统;
- (5) 确认硬件结构;
- (6) 评估复杂软件系统多方面的性能;
- (7) 模拟其他任何一种合适的离散事件系统。

OMNeT++ 本身并不是任何具体事物的模拟器,而是用来承载模拟程序的基本结构或工具。而这种结构的一个基础成分是仿真模型的组件架构。模型由称作模块的可再用的组件集合而成。好的模块不仅可以多次使用,还能以 LEGO 块等多种方式进行集成。

不同模块之间可通过门(在一些其他系统中,被称为端口)相互连接,从而形成复合模块。这些嵌入式的模块的深度是无限制的。它们通过信息的传输进行通信,信息可以包括任意复杂的数据结构。各模块均可以通过门或者线路直接发送信息给目标点或者也可以通过预先的路径进行传输。各个模块可以有自己的参数集,参数集可以被用于定制模块行为,或者可以用于确定模拟拓扑图的参数。模拟层次中的最底层模块可以嵌入行为,这些模块被称为简单模块。简单模块可以利用模拟器的库函数用 C++ 进行编程。

OMNeT++ 模拟程序可以通过多种用户接口运行:图形用户接口对程序的演示和调试都是非常有用的,命令行用户接口是批量执行的最好方式。OMNeT++ 模拟器及其接口和工具都非常轻便,它们已在当前最常用的操作系统(Linux, Mac OS/X 和 Windows)中通过测试。经过细微的修改,还可应用于其他绝大多数类似 UNIX 的操作系统。

OMNeT++ 还支持分布式并行仿真,它可以利用多种机制进行用于几个并联的分布式模拟器之间的通信仿真,比如 MPI 和指定的通道。这种并行仿真算法可以很容易地进行扩展,也很容易加入新的模块。各个模块不必用特定的结构并行运行,这只是一个配

置的问题。OMNeT++ 甚至还可以被用于并行模拟仿真算法的多层次描述,因为模拟器可以在 GUI 下并行运行,这种 GUI 为运行过程提供了详细的反馈。

OMNEST 是 OMNeT++ 的一个商业版本,OMNeT++ 只在学术和非盈利性活动中免费,而在进行商业性研究时需要从 Global 公司获得 OMNEST 许可证。

1.2 基本结构

OMNeT++ 主要由六个部分组成:仿真内核库(simulation kernel library, Sim)、网络描述语言的编译器(network description compiler, NEDC)、图形化的网络编辑器(graphical network description editor, GNED)、仿真程序的图形化用户接口——Tkenv、仿真程序的命令行用户接口 Cmdenv、图形化的输出工具 Plove 和 Scalar。Sim 是仿真内核和类库,用户编写的仿真程序要同 Sim 连接。Sim 在 OMNeT++ 中占据最重要的地位。为了便于学习和理解,下面先介绍网络描述语言和用户接口的基本知识。

1. 网络描述(NED)语言

NED 是模块化的网络描述语言。网络描述包括大量的对组件的描述,如通道、简单和复合模块的类型。这些组件描述可用于各种不同的网络描述中。NED 语言用来定义模型中的网络拓扑结构,较为简单的网络拓扑可以使用 GNED,但复杂网络的拓扑描述还应该用 NED 源文件方式书写。

2. 用户接口

OMNeT++ 的用户接口用于实现仿真程序的人机交互,OMNeT++ 允许模型内部机制对用户可视化,也允许用户启动和终止仿真,并更改模型内部的变量。OMNeT++ 中的图形化接口是一个用户工具,可方便用户了解模型内部的运行机制。

用户接口和仿真内核的交互是通过一个已定义的接口实现的。无须改变仿真内核,就可以实现不同类型的用户接口。同样无须更改模型文件,仿真模型可在不同接口下运行。用户可以在强大图形化用户接口下测试和调试仿真程序,并最后可在简单快速的用户接口中运行,而且该接口支持批处理。

目前 OMNeT++ 支持两种用户接口,即 Tkenv 和 Cmdenv。对仿真进行的测试和调试可以在 Tkenv 接口下进行,Tkenv 是一个简便易用的图形窗口化的用户接口,Tkenv 支持跟踪,调试和执行仿真的功能。它在执行仿真过程中的任意时刻都能够提供详细的状态信息。Tkenv 的主要特征有:各模块的文本输出有其独立的窗口,仿真过程中可以在 Tkenv 窗口中看到自传消息,支持仿真动画,标记断点,具有检查窗口,可以检查和改变模型中的变量,执行过程中仿真结果的图形化显示并且结果可以用柱状图和时间序列图显示,仿真可重新进行,快照文件用于显示模型的详细信息。

Cmdenv 接口用于实际的仿真实验,因为 Cmdenv 支持批处理。Cmdenv 是一个简便的小型命令行接口,执行速度快。它可以在所有操作系统平台上运行。Cmdenv 可以一次批处理配置文件中所有的仿真。